

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



13281 U.S. PTO

040904

発明の名称

光伝送路構成方法および光伝送路

発明の背景発明の技術分野

- 5 本発明は、伝送特性が異なる複数本の光ファイバが接続されてなる光伝送路、および、そのような光伝送路を構成する方法に関するものである。

関連する背景技術

- 10 光通信システムにおいて信号光を伝送する媒体として用いられる光伝送路は、信号光の波形劣化を抑制するために、累積波長分散が小さく、非線形性が小さいことが要求される。このような要求を実現し得るものとして、長手方向に沿って波長分散の符号が正負に変化する光伝送路が知られている（例えば米国特許第 6 4 7 3 5 4 8 号を参照）。また、そのような光伝送路において、波長分散が正の正分散部分と負の負分散部分とを識別するために、正分散部分および負分散部分それぞれに互いに異なる着色やマーキングを付する技術が知られている（例えば米国特許第 15 5 6 1 1 0 1 6 号を参照）。

- 20 しかしながら、波長分散のような伝送特性が異なる複数本の光ファイバを接続して光伝送路を構成する場合、接続しようとする光ファイバが果たして所望の特性を有する光伝送路を構成し得るものであるか否かを判断することは容易ではない。特に、既に敷設されている光ファイバに他の光ファイバを接続する場合に、その敷設されている光ファイバの長手方向の伝送特性の分布を確認することは現実には不可能である。

発明の要旨

- 25 本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、伝送特性が異なる複数本の光ファイバを接続して所望の特性を有する光伝送路を

容易に構成することができる方法を提供することを目的とする。

本発明に係る光伝送路構成方法は、伝送特性が異なる複数本の光ファイバを接続し、その接続した複数本の光ファイバの入射端に検査光を入射させ、複数本の光ファイバの長手方向の各位置において生じる検査光の戻り光を入射端側で検出し、複数本の光ファイバの長手方向における戻り光の特性情報の分布を評価して、その評価結果に基づいて光伝送路を構成することを特徴とする。ここで、伝送特性がモードフィールド径であり、特性情報がモードフィールド径に応じた戻り光のパワーレベルであるであるのが好適である。検査光が第1波長および第2波長の光を含み、伝送特性が波長分散であり、特性情報が第1波長および第2波長の入射端への戻り光の到達時間の差であるであるのが好適である。伝送特性が伝送損失であり、特性情報が伝送損失に応じた戻り光のパワーレベルであるであるのが好適である。また、伝送特性が周波数シフト量であり、特性情報が複数本の光ファイバそれぞれに固有の戻り光の周波数シフトであるであるのが好適である。

また、本発明に係る光伝送路構成方法は、第1の光ケーブルに含まれる伝送特性が異なる複数本の光ファイバのうちの何れかの光ファイバを選択するとともに、第2の光ケーブルに含まれる伝送特性が異なる複数本の光ファイバのうちの何れかの光ファイバを選択し、各々の選択した光ファイバの入射端に検査光を入射させ、光ファイバの長手方向の各位置において生じる検査光の戻り光を入射端側で検出し、光ファイバにおける戻り光の特性情報を評価して、その評価結果に基づいて光ファイバを接続して光伝送路を構成することを特徴とする。ここで、基準となる伝送特性を有する基準光ファイバを経て検査光を光ファイバの入射端に入射させ、基準光ファイバおよび光ファイバの長手方向の各位置において生じる検査光の戻り光を検出し、光ファイバにおける戻り光の特性情

報を基準光ファイバにおける戻り光の特性情報と対比して評価するのであるのが好適である。

5 本発明に係る光伝送路構成方法は、波長分散が異なる2種類以上の光ファイバを複数本接続した伝送路が複数本存在し、伝送路の長さ方向の分散の分布状況を測定し、長手方向の所定位置で分岐接続可能な分岐用の伝送路を選別し、分岐接続を行なうことを特徴とする。

10 本発明に係る光伝送路構成方法は、波長分散が異なる2種類以上の光ファイバを複数本接続した伝送路が複数本存在し、伝送路の長さ方向の分散の分布状況を測定し、分岐先伝送路として接続可能な伝送路を選別し、分岐接続を行なうことを特徴とする。

本発明に係る光伝送路構成方法は、波長分散が異なる2種類以上の光ファイバを複数本接続した伝送路に対し、伝送路の長さ方向の分散の分布状況を測定し、長手方向のどの位置で分岐接続可能かを特定し、分岐接続を行なうことを特徴とする。

15 本発明に係る光伝送路構成方法は、第1の区間に、所定の信号光波長で、波長分散の分散の符号が異なる2種類以上の光ファイバを接続されて構成された第1の伝送路を有し、第1の区間と接続される第2の区間に、所定の信号光波長で、波長分散の分散の符号が異なる2種類以上の光ファイバを接続されて構成された第2の伝送路と第3の伝送路とを有し、第2の伝送路と第3の伝送路は、長手方向の分散の分布状況が不明に接続されており、第1の伝送路と第2の伝送路を接続して光伝送路を構成する方法であり、光伝送路が所望の伝送特性となる第2の伝送路を調査するため、第2の区間の伝送路の長手方向の分散の分布状況を測定することを特徴とする。なお、所望の伝送特性とは、所望の伝送速度を得られるよう、全体が所定の累積分散であり、分散が同符号で長距離接続されていないことを意味する。第1の伝送路の長手方向の分散の分布

20

25

状況は、予め分かっているとしてもよいし、予め測定することとしてもよい。

本発明に係る光伝送路は、波長分散が正の正分散部分と負の負分散部分とが隣接する部分において常に正分散部分および負分散部分のうち大きいモードフィールド径に対する小さいモードフィールド径が0.99以下であることを特徴とする。

ここで、隣接する部分において正分散部分のモードフィールド径が負分散部分のモードフィールド径より大きいであるのが好適である。隣接する部分において正分散部分のモードフィールド径に対する負分散部分のモードフィールド径の比が0.75以上0.99以下であるのが好適である。また、本発明に係る光伝送路は、波長分散が正の正分散部分と負の負分散部分とが隣接する部分において正分散部分および負分散部分それぞれの伝送損失が所定波長で0.01dB以上相違していることを特徴とする。

なお、本件明細書で所定波長とは、例えば、1310nmから1625nmの一つの波長である。

図面の簡単な説明

図1は、本実施形態に係る光伝送路構成方法の説明図である。

図2は、本実施形態に係る光伝送路構成方法においてOTDR装置20の戻り光受信部22により検出される戻り光の特性情報分布の第1例を示す図である。

図3は、接続損失および戻り光パワーレベルそれぞれとモードフィールド径との関係を示すグラフである。

図4は、本実施形態に係る光伝送路構成方法においてOTDR装置20の戻り光受信部22により検出される戻り光の特性情報分布の第2例を示す図である。

図5は、正分散光ファイバおよび負分散光ファイバそれぞれの波長分

散特性例を示す図である。

図 6 は、本実施形態に係る光伝送路構成方法において O T D R 装置 2 0 の戻り光受信部 2 2 により検出される戻り光の特性情報分布の第 3 例を示す図である。

5 図 7 は、本実施形態に係る光伝送路構成方法において O T D R 装置 2 0 の戻り光受信部 2 2 により検出される戻り光の特性情報分布の第 4 例を示す図である。

10 図 8 は、本実施形態に係る光伝送路構成方法において O T D R 装置 2 0 の戻り光受信部 2 2 により検出される戻り光の特性情報分布の第 5 例を示す図である。

図 9 は、本実施形態に係る光伝送路構成方法の適用の 1 例を示す図である。

好適な実施例の詳細な説明

15 以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

20 図 1 は、本実施形態に係る光伝送路構成方法の説明図である。この図 1 には、本実施形態に係る光伝送路構成方法により構成されるべき光伝送路 1 0、および、本実施形態に係る光伝送路構成方法を実施する為に用いられる O T D R 装置 2 0 が示されている。なお、光伝送路構成方法は、各ケーブル群より選別した光ファイバを接続して所望の特性を有する光伝送路を構成する方法を含むだけでなく、既に接続された光伝送路において光ファイバ分岐位置を特定して分岐伝送路を構成する方法をも含む。

25 構成されるべき光伝送路 1 0 は、既に順に接続されている光ファイバ 1 1 ～ 1 3 と、光ファイバ 1 3 の一端に新たに接続されるべき光ファイ

バ 1 4 とからなる。光ファイバ 1 1 ～ 1 4 は伝送特性が異なる。

例えば、光ファイバ 1 1 および光ファイバ 1 3 それぞれは波長分散が正であり、光ファイバ 1 2 および光ファイバ 1 4 それぞれは波長分散が負である。このような光ファイバ 1 1 ～ 1 4 が縦続接続されてなる光伝送路 1 0 は、局所的に見れば波長分散の絶対値が大きいことにより、非線形光学現象に因る信号光波形劣化を抑制することができ、また、全体的に見れば累積波長分散の絶対値が小さいことにより、累積波長分散に因る信号光波形劣化を抑制することができる。

また、光ファイバ 1 1 ～ 1 4 それぞれの波長分散の絶対値が互いに等しいのが好適であり、この場合には、光ファイバ 1 1 ～ 1 4 それぞれの長さを互いに等しくすることにより、光伝送路 1 0 の全体の累積波長分散の絶対値を十分に小さくすることができる。

また、波長帯域 1 3 0 0 n m ～ 1 6 5 0 n m 内の何れかの波長において光ファイバ 1 1 ～ 1 4 それぞれの分散スロープがゼロであるのが好適であり、この場合には、光伝送路 1 0 は、広い波長帯域で波長分散が平坦であるので、広い波長帯域での信号光伝送は可能である。

また、光ファイバ 1 1 ～ 1 4 それぞれのモードフィールド径が互いに略等しい場合には、接続損失を低減する上で好適である。一方、正分散光ファイバと負分散光ファイバとでモードフィールド径が相違している場合には、後述するように、各光ファイバの接続状況を判別する上で好適である。

また、中継スパンまたは送受信器間の光伝送路において交互に接続される正分散光ファイバと負分散光ファイバとの交番回数は 2 回以上であるのが好適である。製造ばらつきに因り個々の光ファイバの実際の波長分散が設計値と異なっているとしても、交番回数が多いほど、製造ばらつきの平均化効果に因り、光伝送路の全体の波長分散は設計値に近づく。

また、光ファイバ 1 1 ～ 1 4 それぞれの長さは 1 0 k m 以下であるのが好適である。この場合には、光入射端から光伝送路の各位置までの累積波長分散の絶対値が小さいので、信号光波形劣化を抑制する上で好ましい。

- 5 O T D R 装置 2 0 は、光ファイバ 1 1 ～ 1 3 に対して新たに光ファイバ 1 4 を接続することで所望の特性を有する光伝送路 1 0 を構成することができるか否かを判別するものである。O T D R 装置 2 0 は、検査光送信部 2 1、戻り光受信部 2 2、制御部 2 3 および光カプラ 2 4 を備える。
- 10 検査光送信部 2 1 は、パルス状の検査光を光カプラ 2 4 へ出力する。戻り光受信部 2 2 は、光カプラ 2 4 から到達した戻り光を受光し、その戻り光の特性情報（例えば、パワーレベル、周波数シフト量）の時間的変化を検出する。制御部 2 3 は、検査光送信部 2 1 に対してパルス状の検査光の出力を指示するとともに、戻り光受信部 2 2 に対して戻り光の
- 15 特性情報の時間的変化の検出を指示し、戻り光受信部 2 2 から戻り光の特性情報の時間的変化を受け取ってこれを評価する。光カプラ 2 4 は、検査光送信部 2 1 から出力された検査光を光ファイバ 1 4 の入射端に入射させ、光ファイバ 1 4 から到達した戻り光を戻り光受信部 2 2 へ出力する。
- 20 この O T D R 装置 2 0 は制御部 2 3 による制御の下に以下のように動作する。検査光送信部 2 1 からパルス状の検査光が出力される。その検査光は、光カプラ 2 4 を経て光ファイバ 1 4 の一端に入射し、光ファイバ 1 4、1 3、1 2 および 1 1 を順に伝搬していく。その検査光の伝搬の間に種々の要因により検査光の戻り光が発生する。その戻り光は、光
- 25 伝送路 1 0 を光カプラ 2 4 へ向かって進み、光カプラ 2 4 を経て戻り光受信部 2 2 に到達する。戻り光受信部 2 2 に到達した戻り光は戻り光受

信部 22 により受光され、戻り光の特性情報の時間的変化が検出される。そして、制御部 23 により、戻り光の特性情報の時間的変化が表示され評価される。なお、光伝送路 10 の長手方向の各位置において発生した戻り光は、その位置に応じた時刻（検査光出力時刻を基準とする経過時間）に戻り光受信部 22 に到達するから、戻り光の特性情報の時間的変化は、光伝送路 10 の長手方向における戻り光の特性情報の分布を表している。

本実施形態に係る光伝送路構成方法では、この OTDR 装置 20 を用いて、以下のようにして光伝送路 10 を構成する。ここでは、光ファイバ 11～13 が既に接続されていて、そのうちの光ファイバ 13 に対して新たに光ファイバ 14 を接続することで所望の特性を有する光伝送路 10 を構成する場合について説明する。

初めに、或る伝送特性を有する光ファイバ 14 の一端と光ファイバ 13 とを互いに接続するとともに、その光ファイバ 14 の他端に OTDR 装置 20 の光カップラ 24 を接続する。OTDR 装置 20 の検査光送信部 21 から出力されたパルス状の検査光を、光カップラ 24 を経て光ファイバ 14 の他端（入射端）に入射させて、光ファイバ 14, 13, 12 および 11 に順に伝搬させる。そして、光ファイバ 11～14 の長手方向の各位置において生じる検査光の戻り光を、光カップラ 24 を経て戻り光受信部 22 により受光し、光ファイバ 11～14 の長手方向における戻り光の特性情報の分布を評価する。

もし、その評価結果が所望のものであれば、この光ファイバ 14 を接続した光伝送路 10 を構成する。一方、その評価結果が所望のもでなければ、この光ファイバ 14 とは異なる伝送特性を有する他の光ファイバ 14' を光ファイバ 13 に接続して、上記と同様にして、光ファイバ 11～13 および 14' の長手方向における戻り光の特性情報の分布を

評価する。このようにして、評価結果が所望のものであることが確認されたときの光ファイバ14を接続して光伝送路10を構成する。

ここで、上記伝送特性がモードフィールド径であり、上記特性情報がモードフィールド径に応じた戻り光のパワーレベルであるのが好適である。検査光が第1波長および第2波長の光を含み、上記伝送特性が波長分散であり、上記特性情報が第1波長および第2波長の入射端への戻り光の到達時間の差であるのが好適である。上記伝送特性が伝送損失であり、上記特性情報が伝送損失に応じた戻り光のパワーレベルであるのが好適である。また、上記伝送特性が周波数シフト量であり、上記特性情報が光ファイバ11～14それぞれに固有の戻り光の周波数シフトであるのが好適である。以下では、これらの各々の場合について説明する。

図2は、本実施形態に係る光伝送路構成方法においてOTDR装置20の戻り光受信部22により検出される戻り光の特性情報分布の第1例を示す図である。この図で、横軸は、光ファイバ11～14の長手方向における位置を表し、縦軸は、戻り光のパワーレベルを表す。ここでは、光ファイバ11～14それぞれは、モードフィールド径が異なっていて、光ファイバ11および光ファイバ13それぞれの波長分散が正であり、光ファイバ12および光ファイバ14それぞれの波長分散が負であるとする。

光ファイバ11～14の接続点 $P_1 \sim P_3$ （図1参照）において、常に正分散光ファイバ12, 14および負分散光ファイバ11, 13のうちの何れか一方のモードフィールド径が他方のモードフィールド径より所定値以上大きいのが好適である。位置 $P_1 \sim P_3$ において、正分散光ファイバ12, 14のモードフィールド径が負分散光ファイバ11, 13のモードフィールド径より大きいのが好適である。また、位置 $P_1 \sim P_3$ において、正分散光ファイバ12, 14のモードフィールド径に対する負

分散光ファイバ 11, 13 のモードフィールド径の比が 0.75 以上 0.99 以下であるのが好適である。

例えば、正分散光ファイバ 12, 14 それぞれは、モードフィールド径が $7.95 \mu\text{m} \sim 8.04 \mu\text{m}$ であり、波長 1550 nm での波長分散が $+8.0 \text{ ps/nm/km}$ である。負分散光ファイバ 11, 13 それぞれは、モードフィールド径が $7.75 \mu\text{m} \sim 7.85 \mu\text{m}$ であり、波長 1550 nm での波長分散が -8.0 ps/nm/km である。負分散光ファイバ 11, 13 は、正分散光ファイバ 12, 14 と比べて、モードフィールド径が小さいから、戻り光受信部 22 に到達する戻り光のパワーレベルが大きい。

したがって、図 2 に示されるように、戻り光のパワーレベルの長手方向分布は、概略的には右下がりの傾向があるものの、正分散光ファイバ 14 と負分散光ファイバ 13 との接続点 P_1 においてステップ状に大きくなり、負分散光ファイバ 13 と正分散光ファイバ 12 との接続点 P_2 においてステップ状に小さくなり、また、正分散光ファイバ 12 と負分散光ファイバ 11 との接続点 P_3 においてステップ状に大きくなる。

なお、接続点 $P_1 \sim P_3$ それぞれでは融着接続に因る接続損失が発生するが、正分散光ファイバおよび負分散光ファイバそれぞれの戻り光パワーレベルの差が接続損失より大きいので、戻り光パワーレベルが局所的に増加する位置 (P_1, P_3) は正分散光ファイバから負分散光ファイバへの移行位置であると判定することができ、また、戻り光パワーレベルが局所的に減少する位置 (P_2) は負分散光ファイバから正分散光ファイバへの移行位置であると判定することができる。

図 3 は、接続損失および戻り光パワーレベル比それぞれとモードフィールド径との関係を示すグラフである。ここでは、融着接続される一方の光ファイバのモードフィールド径を $8.0 \mu\text{m}$ とし、融着接続時のコ

ア中心位置ずれ量を $1.0 \mu\text{m}$ として、他方の光ファイバのモードフィールド径を $6.0 \mu\text{m}$ から $8.0 \mu\text{m}$ まで変化させて、接続損失および戻り光パワーレベル比を調べた。この図から判るように、戻り光パワーレベル比が接続損失を上回るためには、他方の光ファイバのモードフィールド径は $7.9 \mu\text{m}$ 以下であることが必要である。また、接続損失を 0.5 dB 以下に抑えるためには、他方の光ファイバのモードフィールド径は $6.0 \mu\text{m}$ 以上であることが必要である。

以上のことから、長手方向の波長分散の正負を判定するとともに、光伝送路全体の損失を抑制するには、正分散光ファイバと負分散光ファイバとのモードフィールド径の比は $0.75 \sim 0.99$ であることが望ましい。また、正分散光ファイバおよび負分散光ファイバそれぞれの曲げ損失特性を同程度のものとするには、負分散光ファイバのモードフィールド径は正分散光ファイバのモードフィールド径より小さいことが必要である。したがって、負分散光ファイバのモードフィールド径は、正分散光ファイバのモードフィールド径の 0.75 倍 ~ 0.99 倍であることが望ましい。

図 4 は、本実施形態に係る光伝送路構成方法において OTDR 装置 20 の戻り光受信部 22 により検出される戻り光の特性情報分布の第 2 例を示す図である。この図で、横軸は、光ファイバ 11 \sim 14 の長手方向における位置を表し、縦軸は、戻り光のパワーレベルを表す。ここでは、光ファイバ 11 \sim 14 それぞれは、光ファイバ 11 および光ファイバ 13 それぞれの波長分散が正であり、光ファイバ 12 および光ファイバ 14 それぞれの波長分散が負であるとする。また、検査光として、波長 1625 nm および波長 1310 nm それぞれの検査光が用いられる。

正分散光ファイバ 11, 13 および負分散光ファイバ 12, 14 それぞれの波長分散特性は図 5 に示されている。正分散光ファイバ 11, 1

3では、長波長側において群遅延時間が長く、短波長側において群遅延時間が短い。一方、負分散光ファイバ12, 14では、長波長側において群遅延時間が短く、短波長側において群遅延時間が長い。

このことから、光カプラ24から先ず正分散光ファイバ14に検査光が入射する場合には、波長1310nmの検査光で検出される接続点P_{1a}は、波長1625nmの検査光で検出される接続点P_{2b}より、入射端側に位置する。逆に、光カプラ24から先ず負分散光ファイバに検査光が入射する場合には、波長1625nmの検査光で検出される接続点は、波長1310nmの検査光で検出される接続点より、入射端側に位置する。したがって、正分散光ファイバから負分散光ファイバへの移行位置であるのか、或いは、負分散光ファイバから正分散光ファイバへの移行位置であるのかを、2波長の検査光を用いることで判別することができる。

なお、正分散光ファイバ11, 13は、長さが10kmであるとする
と、波長1310nm～1625nmにおける平均波長分散値が+5.3ps/nm/kmであるから、群遅延時間差が16700ps
(=5.3ps/nm/km×(1625-1310)nm×10km)である。この群遅延時間差は、ファイバ長3.4m(=16700×10⁻¹²sec×3.0×10⁸m/sec÷1.47)に相当するから、OTDR技術により検出可能なレベルである。

また、図4では正分散光ファイバ14および負分散光ファイバ13についてのみ示されているが、正分散光ファイバ12および負分散光ファイバ11についても同様に適用可能である。また、この方法では、波長分散の正負の長手方向分布を判定することができるだけでなく、接続位置間での累積波長分散を定量的に把握することもできる。

また、図4では2波長の検査光を用いることで接続点を検出するものであったが、光ファイバの破断・切断などの光学的な結合の解消の位置

からの2波長の検査光の反射光を戻り光として検出することで、その光学的結合解消位置を判定することもでき、入射端から光学的結合解消位置までの累積波長分散を定量的に把握することもできる。なお、光学的な結合の解消は、光ファイバの破断・切断の他に、コネクタ接続の開放やメカニカルスプライスの開放をも含む。また、反射部分だけでなく、戻り光パワーレベルが急激に変化する部分についても、その位置を判定することができる。

図6は、本実施形態に係る光伝送路構成方法においてOTDR装置20の戻り光受信部22により検出される戻り光の特性情報分布の第3例を示す図である。この図で、横軸は、光ファイバ11～14の長手方向における位置を表し、縦軸は、戻り光のパワーレベルを表す。ここでは、光ファイバ11～14それぞれは、光ファイバ11および光ファイバ13それぞれの波長分散が負であり、光ファイバ12および光ファイバ14それぞれの波長分散が正であるとする。また、光ファイバ11～14それぞれは製造時にコア領域に残留するOH基の濃度が調整されていて、OH基吸収ピーク波長である波長1383nmにおいて、正分散光ファイバ12、14の伝送損失が0.35dB/kmとされ、負分散光ファイバ11、13の伝送損失が0.50dB/kmとされている。また、波長1383nmの検査光が用いられる。

検査光波長における伝送損失は、正分散光ファイバ11、13より負分散光ファイバ12、14の方が大きいから、戻り光の長手方向分布の傾斜は、正分散光ファイバ11、13より負分散光ファイバ12、14の方が大きい。したがって、正分散光ファイバから負分散光ファイバへの移行位置であるのか、或いは、負分散光ファイバから正分散光ファイバへの移行位置であるのかを、戻り光の長手方向分布の傾斜の変化に基づいて判別することができる。

なお、上記では、光ファイバ 1 1 ~ 1 4 それぞれのコア領域における
OH基が異なるものとされて、波長 1 3 8 3 n m の検査光が用いられた。
しかし、検査光波長およびコア領域添加物は、これに限定されず、検査
光波長で有意の伝送損失を有していて、信号光波長での伝送損失が無視
し得る程度であればよい。

図 7 は、本実施形態に係る光伝送路構成方法において O T D R 装置 2
0 の戻り光受信部 2 2 により検出される戻り光の特性情報分布の第 4 例
を示す図である。この図で、横軸は、光ファイバ 1 1 ~ 1 4 の長手方向
における位置を表し、縦軸は、入射した検査光に対する戻り光の周波数
シフト量を表す。ここでは、光ファイバ 1 1 ~ 1 4 それぞれは、光ファ
イバ 1 1 および光ファイバ 1 3 それぞれの波長分散が負であり、光ファ
イバ 1 2 および光ファイバ 1 4 それぞれの波長分散が正であるとする。

負分散光ファイバ 1 1 , 1 3 はクラッド領域に対する中心コア領域の
比屈折率差が 0 . 6 % であるとし、正分散光ファイバ 1 2 , 1 4 はクラ
ッド領域に対する中心コア領域の比屈折率差が 0 . 7 % であるとする。
波長 1 5 5 0 n m 帯の狭帯域の検査光を光伝送路に入射させ、ブリルア
ン O T D R 技術を用いて、戻り光の周波数シフト量の長手方向分布を測
定する。ブリルアン散乱光の周波数シフト量は、光ファイバのコア領域
におけるドーパント濃度によって異なる。したがって、比屈折率差を
調整するためにコア領域に添加される G e O₂ の添加量が異なる正分散
光ファイバ 1 2 , 1 4 と負分散光ファイバ 1 1 , 1 3 とでは、戻り光の
周波数シフト量が異なる。したがって、正分散光ファイバから負分散光
ファイバへの移行位置であるのか、或いは、負分散光ファイバから正分
散光ファイバへの移行位置であるのかを、戻り光の長手方向分布の周波
数シフト量の変化に基づいて判別することができる。

また、少なくともコア領域の一部が実質的に純石英ガラスからなる

光ファイバ母材を用意し、この光ファイバ母材を線引きする際に線引張力を間欠的に変化させて、光ファイバを製造する。線引き時の粘性が低い純石英ガラスの部分に残留応力が集中するから、得られた光ファイバの長手方向において、残留応力分布が形成されて、純石英ガラス部分の屈折率の分布が形成され、これに因り、正分散部分と負分散部分とが交互に形成される。このようにして製造された光ファイバの一端から波長1550nm帯の狭帯域の検査光を入射させ、ブリルアンOTDR技術を用いて、戻り光の周波数シフト量の長手方向分布を測定する。ブリルアン散乱光の周波数シフト量は、光ファイバのコア領域における残留応力によって異なる。したがって、正分散部分から負分散部分への移行位置であるのか、或いは、負分散部分から正分散部分への移行位置であるのかを、戻り光の長手方向分布の周波数シフト量の変化に基づいて判別することができる。

図8は、本実施形態に係る光伝送路構成方法においてOTDR装置20の戻り光受信部22により検出される戻り光の特性情報分布の第5例を示す図である。この図で、横軸は、光ファイバ11～14の長手方向における位置を表し、縦軸は、戻り光のパワーレベルを表す。ここでは、光ファイバ11～14は波長分散の符号が交互に変化するものとし、また、光ファイバ11～14のうち何れかの光ファイバ（例えば、検査光入射端に最も近い光ファイバ14）の波長分散の符号が既知であるのが好ましい。また、互いに異なる第1波長および第2波長それぞれの検査光が用いられる。また、2波長の検査光が光伝送路10を伝搬する間に生じるストークス散乱光またはアンチストークス散乱光が戻り光として用いられる。

この戻り光のパワーレベルは、同図に示されるように、光伝送路10の長手方向の位置に応じて変動する。これは、ストークス散乱またはア

ンチストークス散乱の際の2波長の検査光の間の位相不整合の程度が、光伝送路10の長手方向の位置に応じて変動するからである。しかし、正分散光ファイバと負分散光ファイバとの接続位置の前後では、同図の実線で示されるように、戻り光のパワーレベルは、増加傾向から減少傾向へ転じ、或いは、減少傾向から増加傾向へ転じる。したがって、このような増加傾向から減少傾向へ（または、減少傾向から増加傾向へ）転じる位置を検出することで、正分散光ファイバと負分散光ファイバとの接続位置を判別することができる。この方法では、波長分散の正負の長手方向分布を判定することができるだけでなく、接続位置間での累積波長分散を定量的に把握することもできる。

ただし、戻り光のパワーレベルが極大値または極小値である位置で増減傾向が変化した場合には、その位置を検出することができない。そこで、このような場合には、何れかの検査光の波長を変化させて、戻り光のパワーレベルが極大値および極小値の何れでもない位置で増減傾向が変化するようにすればよい。

また、この方法では、同符号の波長分散を有する2本の光ファイバの接続位置では、同図の破線で示されるように増減傾向が変化しないので、その接続位置を判別することができない。そこで、同符号の波長分散を有する2本の光ファイバの接続位置を判別するには、通常のOTDR技術による方法を併用すればよい。

なお、上記の説明では1本の光伝送路10について説明したが、本実施形態に係る光伝送路構成方法は、光ケーブル内に伝送特性が異なる複数本の光ファイバがある場合において、OTDR技術を用いて複数本の光ファイバのうちから所望の特性を有する光ファイバを選択して、その選択した光ファイバを接続することで所望の特性を有する光伝送路を構成することもできる。すなわち、第1の光ケーブルに含まれる伝送特性

が異なる複数本の光ファイバのうちの何れかの光ファイバを選択するとともに、第2の光ケーブルに含まれる伝送特性が異なる複数本の光ファイバのうちの何れかの光ファイバを選択する。そして、各々の選択した光ファイバの入射端に検査光を入射させ、光ファイバの長手方向の各位置において生じる検査光の戻り光を入射端側で検出し、光ファイバにおける戻り光の特性情報を評価する。この特性情報の評価の手法は、上述した第1例～第4例と同様である。その評価の結果、各々の選択した光ファイバを互いに接続したときに、その接続されたものが所望の特性を有するものであるか否かを判定する。もし、その判定結果が良好ということであれば、各々の選択した光ファイバを互いに接続する。逆に、その判定結果が不適ということであれば、第1の光ケーブルおよび第2の光ケーブルの何れかにおいて他の光ファイバを選択し、上記と同様にして特性情報の評価および判定を行なう。このようにすることにより、所望の特性を有する光伝送路を構成することができる。

また、上記の説明では光ファイバ11～14の何れもが光伝送路10を構成するものとして説明したが、本実施形態に係る光伝送路構成方法は、光ファイバ11～14のうち光ファイバ14を基準光ファイバとして用いることとしてもよい。すなわち、OTDR装置20の光コネクタ24に、その伝送特性が既知の基準光ファイバ14が接続される。OTDR装置20の検査光送信部21から出力された検査光は、先ず基準光ファイバ14を伝搬した後、光ファイバ13～11を伝搬する。OTDR装置20の戻り光受信部22により、基準光ファイバ14および光ファイバ11～13の長手方向の各位置において生じる検査光の戻り光が検出され、光ファイバ11～13における戻り光の特性情報が基準光ファイバ11における戻り光の特性情報と対比されて評価される。この特性情報の評価の手法は、上述した第1例～第4例と同様である。このよう

にすることにより、光伝送路を構成する光ファイバ 1 1 ~ 1 3 の特性情報は、基準光ファイバ 1 1 の特性情報との対比において把握され、光伝送路が所望の特性を有するものであるか否かが判定される。

本実施形態に係る光伝送路構成方法は、図 9 に示されるような光伝送路を構成する場合にも適用され得る。図 9 に示されるように、局 3 1 と局 3 2 との間に光ケーブル 4 0 が布設され、局 3 2 と局 3 3 との間に光ケーブル 5 0 が布設されているものとする。光ケーブル 4 0 は、正分散光ファイバ 4 1 a と負分散光ファイバ 4 1 b とが接続されてなる光伝送路 4 1、および、正分散光ファイバ 4 2 a と負分散光ファイバ 4 2 b とが接続されてなる光伝送路 4 2 を含み、正分散光ファイバ 4 1 a および負分散光ファイバ 4 2 b が局 3 1 側にあり、正分散光ファイバ 4 2 a および負分散光ファイバ 4 1 b が局 3 2 側にある。また、光ケーブル 5 0 は、正分散光ファイバ 5 1 a と負分散光ファイバ 5 1 b とが接続されてなる光伝送路 5 1、および、正分散光ファイバ 5 2 a と負分散光ファイバ 5 2 b とが接続されてなる光伝送路 5 2 を含み、正分散光ファイバ 5 1 a および負分散光ファイバ 5 2 b が局 3 2 側にあり、正分散光ファイバ 5 2 a および負分散光ファイバ 5 1 b が局 3 3 側にある。

局 3 2 において、光ケーブル 4 0 および光ケーブル 5 0 それぞれに含まれる光伝送路を互いに光学的に接続するには、負分散光ファイバ 4 1 b と正分散光ファイバ 5 1 a との接続、正分散光ファイバ 4 2 a と負分散光ファイバ 5 2 b との接続、負分散光ファイバ 4 1 b と負分散光ファイバ 5 2 b との接続、および、正分散光ファイバ 4 2 a と正分散光ファイバ 5 1 a との接続、の 4 とおりの接続の態様がある。これらのうち、正分散光ファイバどうしの接続、および、負分散光ファイバどうしの接続では、波長分散が同一符号である区間が長くなって、この区間での累積波長分散値が大きくなり、その結果、非線形光学現象の一種である自

己位相変調と累積波長分散との相互作用に因り、伝送特性が劣化する可能性が大きくなる。したがって、負分散光ファイバ4 1 bと正分散光ファイバ5 1 aとの接続、または、正分散光ファイバ4 2 aと負分散光ファイバ5 2 bとの接続が、好ましい。

- 5 既設の光ケーブル4 0, 5 0それぞれにおいて、各伝送路の長手方向の波長分散の分布状況を識別する為の何らかのマーキング等がなされていないならば、外観からは各伝送路の長手方向の波長分散の分布状況を判別することができない。また、光ケーブル4 0, 5 0それぞれにおいて、各伝送路の全長での累積波長分散を測定したとしても、各光伝送路は正分散光ファイバと負分散光ファイバとが接続されたものであるので、各光伝送路の局3 2側における波長分散の符号を判別することができない。

- 10 そこで、本実施形態に係る光伝送路構成方法を用いて、光ケーブル4 0, 5 0それぞれに含まれる各光伝送路の長手方向の波長分散の分布状況を測定することで、負分散光ファイバ4 1 bと正分散光ファイバ5 1 aとを接続することができ、或いは、正分散光ファイバ4 2 aと負分散光ファイバ5 2 bとを接続することができ、これに因り、局3 1と局3 3との間の光伝送路の特性が優れたものとすることができる。

- 15 なお、これまでの説明では、光ケーブル4 0, 5 0の双方が既設である場合について説明したが、光ケーブル4 0, 5 0のうち一方が既設であって他方が新設である場合も同様である。また、波長分散が同一符号である連続する区間での累積波長分散の許容レベルは伝送システムの内容により異なるが、伝送速度が1 0 G b / sである場合には、累積波長分散の絶対値を1 0 0 0 p s / n m以下に抑えることが望ましい。

- 20 また、図9に示されるようなシステム構成において、本実施形態に係る光伝送路構成方法は、以下のような例の場合にも適用され得る。

25 光ケーブル4 0, 5 0の双方が既に布設されている場合に、従来では、

局 3 2 において、一方の光ケーブルに含まれる光伝送路を経て到達した光信号を電気信号に変換し、この電気信号を再び光信号に変換して、この再変換後の光信号を、他方の光ケーブルに含まれる光伝送路に送出していた。局 3 2 において、このような光-電気-光変換を行なうことなく、
5 光ケーブル 4 0 および光ケーブル 5 0 それぞれに含まれる光伝送路を互いに光学的に接続するには、波長分散の面で実現可能か否か、および、光ケーブル 4 0, 5 0 それぞれに含まれる複数の光伝送路のうち何れの光伝送路を互いに光学的に接続すべきか、を判断することが必要となる。このような判断の際に、本実施形態に係る光伝送路構成方法を用いることにより、局 3 1 と局 3 3 との間で優れた特性を有する光伝送路を構成
10 することができる。

局 3 1 と局 3 2 との間に光ケーブル 4 0 が既に布設されており、局 3 1 から局 3 2 を経て更に局 3 3 へ光伝送路を延ばす場合、光ケーブル 4 0 に複数の光伝送路が含まれていれば、本実施形態に係る光伝送路構成方法を用いることにより、これら複数の光伝送路のうちから長距離伝送に適した光伝送路を選択して、その選択した光伝送路を、局 3 2 と局 3 3 との間の光伝送路に接続することで、局 3 1 と局 3 3 との間で優れた特性を有する光伝送路を構成することができる。
15

さらに、本実施形態に係る光伝送路構成方法は、分岐光伝送路を構成する場合にも適用が可能である。例えば、波長分散が異なる 2 種類以上の光ファイバを複数本接続した伝送路が複数本存在し、伝送路の長さ方向の分散の分布状況を測定し、長手方向の所定位置で分岐接続可能な分岐用の伝送路を選別し、分岐接続を行なう。或いは、波長分散が所定値で、値の異なる 2 種類以上の光ファイバを複数本接続した伝送路が複数
20 本存在し、伝送路の長さ方向の分散の分布状況を測定し、分岐先伝送路として接続可能な伝送路を選別し、分岐接続を行なう。或いは、波長分
25

散が所定値で、値の異なる２種類以上の光ファイバを複数本接続した伝送路に対し、伝送路の長さ方向の分散の分布状況を測定し、長手方向のどの位置で分岐接続可能かを特定し、分岐接続を行なう。

5 以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、伝送特性が異なる複数本の光ファイバを接続して所望の特性を有する光伝送路を容易に構成することができる。

請求の範囲

1. 伝送特性が異なる複数本の光ファイバを接続し、その接続した前記複数本の光ファイバの入射端に検査光を入射させ、前記複数本の光ファイバの長手方向の各位置において生じる前記検査光の戻り光を前記入射端側で検出し、前記複数本の光ファイバの長手方向における前記戻り光の特性情報の分布を評価して、その評価結果に基づいて光伝送路を構成することを特徴とする光伝送路構成方法。

2. 前記伝送特性がモードフィールド径であり、前記特性情報がモードフィールド径に応じた前記戻り光のパワーレベルであることを特徴とする請求項1記載の光伝送路構成方法。

3. 前記検査光が第1波長および第2波長の光を含み、前記伝送特性が波長分散であり、前記特性情報が前記第1波長および前記第2波長の前記入射端への前記戻り光の到達時間の差であることを特徴とする請求項1記載の光伝送路構成方法。

4. 前記伝送特性が伝送損失であり、前記特性情報が前記伝送損失に応じた前記戻り光のパワーレベルであることを特徴とする請求項1記載の光伝送路構成方法。

5. 前記伝送特性が周波数シフト量であり、前記特性情報が前記複数本の光ファイバそれぞれに固有の前記戻り光の周波数シフトであることを特徴とする請求項1記載の光伝送路構成方法。

6. 第1の光ケーブルに含まれる伝送特性が異なる複数本の光ファイバのうちの何れかの光ファイバを選択するとともに、第2の光ケーブルに含まれる伝送特性が異なる複数本の光ファイバのうちの何れかの光ファイバを選択し、各々の選択した光ファイバの入射端に検査光を入射させ、前記光ファイバの長手方向の各位置において生じる前記検査光の戻り光を前記入射端側で検出し、前記光ファイバにおける前記戻り光の

特性情報を評価して、その評価結果に基づいて光ファイバを接続して光伝送路を構成することを特徴とする光伝送路構成方法。

5 7. 基準となる伝送特性を有する基準光ファイバを経て前記検査光を前記光ファイバの前記入射端に入射させ、前記基準光ファイバおよび前記光ファイバの長手方向の各位置において生じる前記検査光の戻り光を検出し、前記光ファイバにおける前記戻り光の特性情報を前記基準光ファイバにおける前記戻り光の特性情報と対比して評価することを特徴とする請求項6記載の光伝送路構成方法。

10 8. 波長分散が異なる2種類以上の光ファイバを複数本接続した伝送路

が複数本存在し、前記伝送路の長さ方向の分散の分布状況を測定し、長手方向の所定位置で分岐接続可能な分岐用の前記伝送路を選別し、分岐接続を行なうことを特徴とする光伝送路構成方法。

15 9. 波長分散が異なる2種類以上の光ファイバを複数本接続した伝送路が複数本存在し、前記伝送路の長さ方向の分散の分布状況を測定し、分岐先伝送路として接続可能な前記伝送路を選別し、分岐接続を行なうことを特徴とする光伝送路構成方法。

20 10. 波長分散が異なる2種類以上の光ファイバを複数本接続した伝送路に対し、前記伝送路の長さ方向の分散の分布状況を測定し、長手方向のどの位置で分岐接続可能かを特定し、分岐接続を行なうことを特徴とする光伝送路構成方法。

25 11. 第1の区間に、所定の信号光波長で、波長分散の分散の符号が異なる2種類以上の光ファイバを接続されて構成された第1の伝送路を有し、前記第1の区間と接続される第2の区間に、所定の信号光波長で、波長分散の分散の符号が異なる2種類以上の光ファイバを接続され

て構成された第2の伝送路と第3の伝送路とを有し、前記第2の伝送路と前記第3の伝送路は、長手方向の分散の分布状況が不明に接続されており、前記第1の伝送路と前記第2の伝送路を接続して光伝送路を構成する方法であり、前記光伝送路が所望の伝送特性となる前記第2の伝送路を調査するため、前記第2の区間の伝送路の長手方向の分散の分布状況を測定することを特徴とする光伝送路構成方法。

12. 波長分散が正の正分散部分と負の負分散部分とが隣接する部分において常に前記正分散部分および前記負分散部分のうちの大きいモードフィールド径に対する小さいモードフィールド径の比が0.99以下であることを特徴とする光伝送路。

13. 前記隣接する部分において前記正分散部分のモードフィールド径が前記負分散部分のモードフィールド径より大きいことを特徴とする請求項12記載の光伝送路。

14. 前記隣接する部分において前記正分散部分のモードフィールド径に対する前記負分散部分のモードフィールド径の比が0.75以上0.99以下であることを特徴とする請求項12記載の光伝送路。

15. 波長分散が正の正分散部分と負の負分散部分とが隣接する部分において前記正分散部分および前記負分散部分それぞれの伝送損失が所定波長で0.01dB以上相違していることを特徴とする光伝送路。

要約書

5 本発明は、 伝送特性が異なる複数本の光ファイバを接続し、その接続した複数本の光ファイバの入射端に検査光を入射させ、複数本の光ファイバの長手方向の各位置において生じる前記検査光の戻り光を前記入射端側で検出し、複数本の光ファイバの長手方向における前記戻り光の特性情報の分布を評価して、その評価結果に基づいて光伝送路を構成することを特徴とする光伝送路構成方法を開示している。